



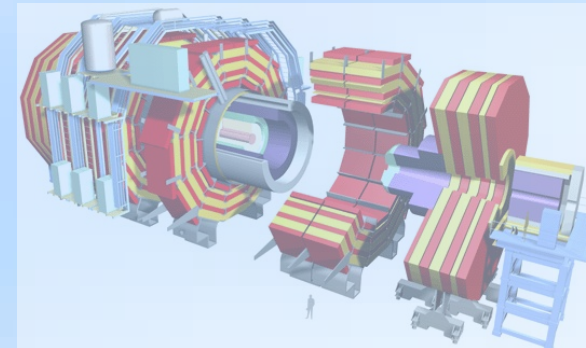
Сергей Петрушанко
(for CMS Collaboration)
НИИЯФ МГУ



Первые результаты по ядро-ядерным соударениям в эксперименте CMS

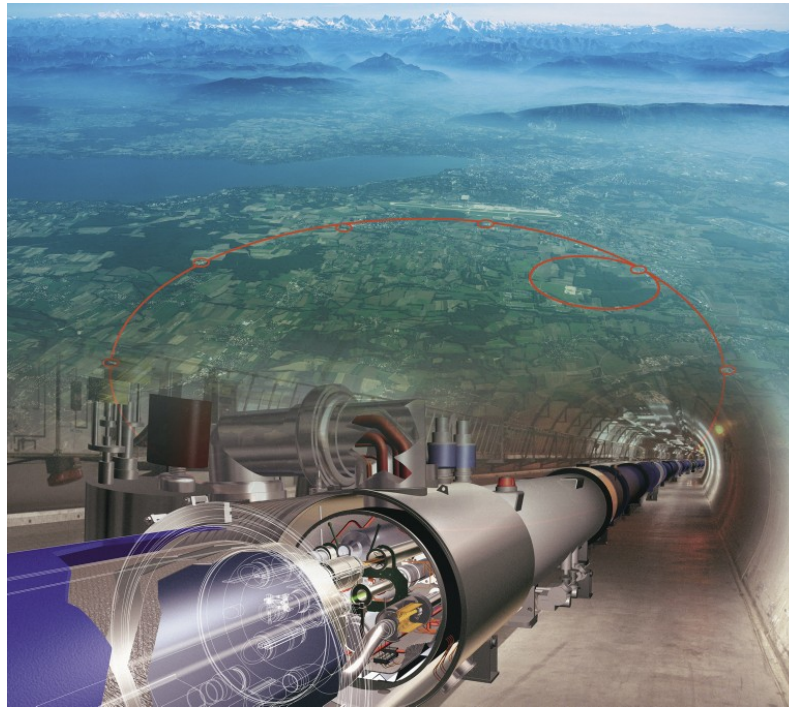
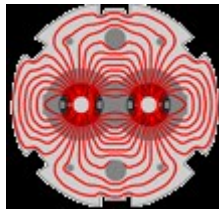


Четвертые
Черенковские Чтения
Москва, ФИАН
12 апреля 2011 год





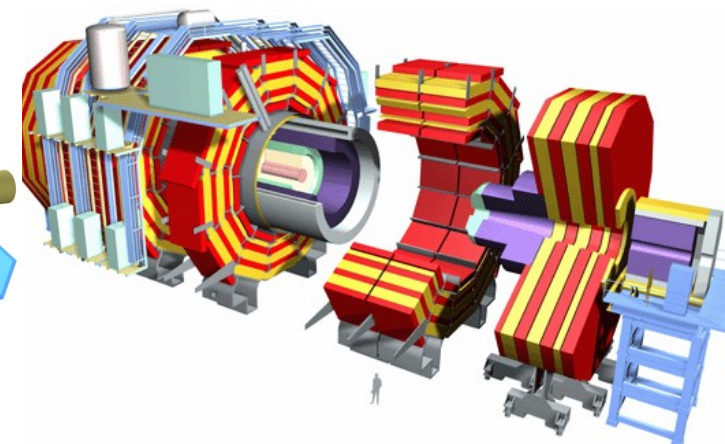
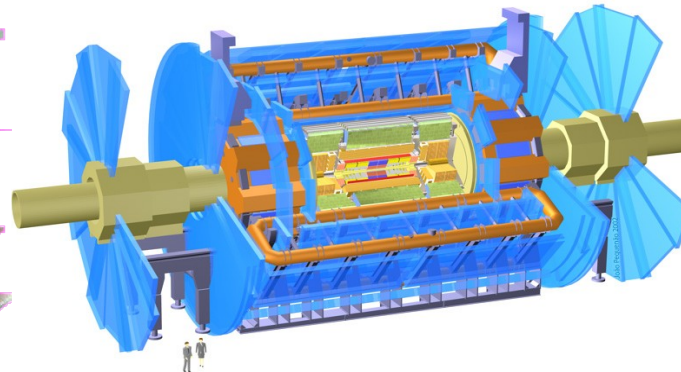
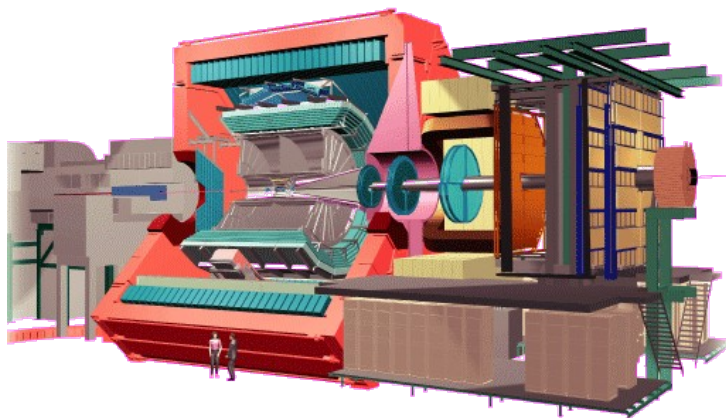
Тяжелые ионы на коллайдере ЛHC

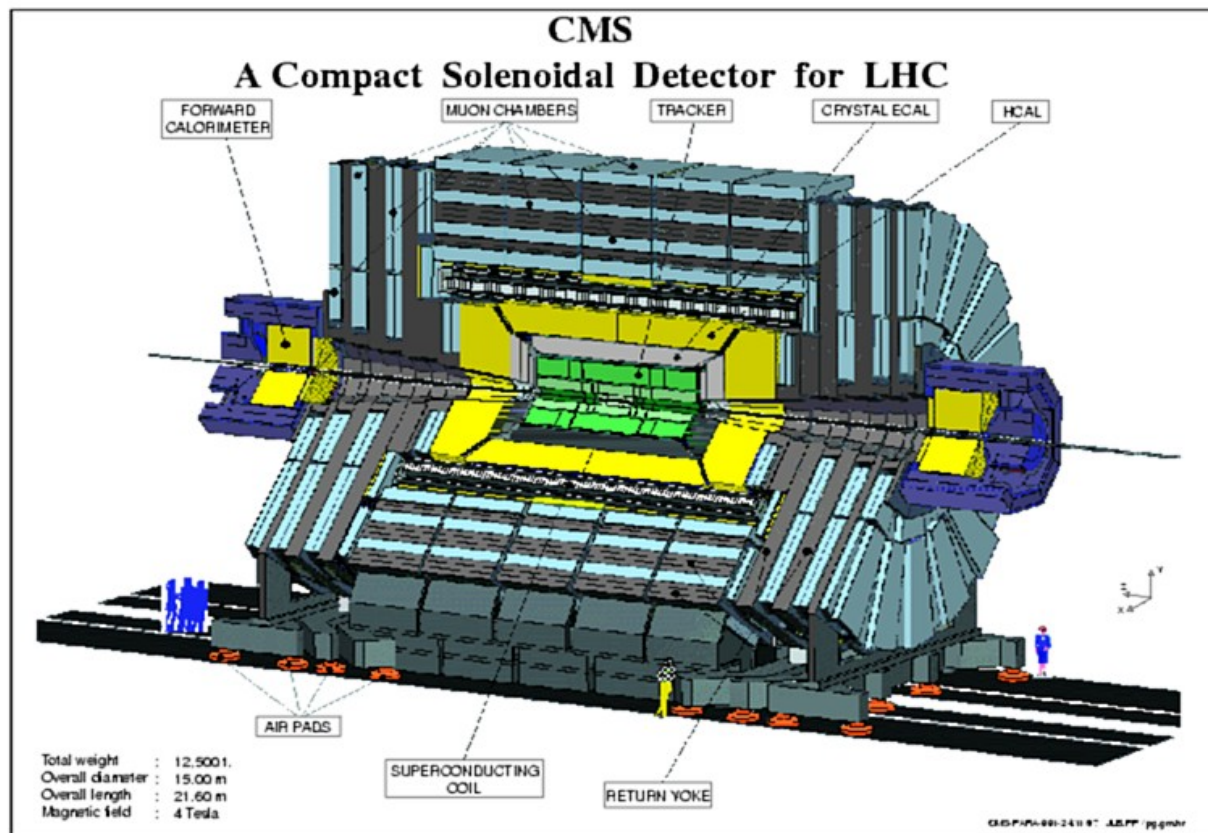


ALICE

ATLAS

CMS





Магнитное поле: **3.8 Тесла**

- ◆ Кремниевый трекер
 $|\eta| < 2.4$
 - ◆ Электромагнитный калориметр
 $|\eta| < 3.0$
 - ◆ Адронный калориметр
центр + торец
 $|\eta| < 3.0$
+ HF-калориметр
 $|\eta| < 5.2$
 - ◆ Мюонные камеры
 $|\eta| < 2.4$
- + Детектор CASTOR
 $5.2 < |\eta| < 6.6$
- + Калориметр Zero-Degree
+ TOTEM



CMS как эксперимент по тяжелым ионам: герметичность, разрешение, гибкий триггер и DAQ



Калориметры: высокое разрешение и сегментация

- герметичность до $|\eta| < 5.2$
- $-5.2 < \eta < -6.6$ CASTOR
- Zero-Degree калориметр

Мюоны: μ от Z^0 , J/ψ , Υ

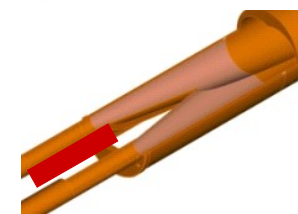
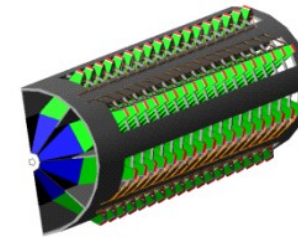
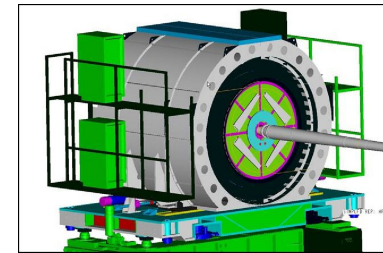
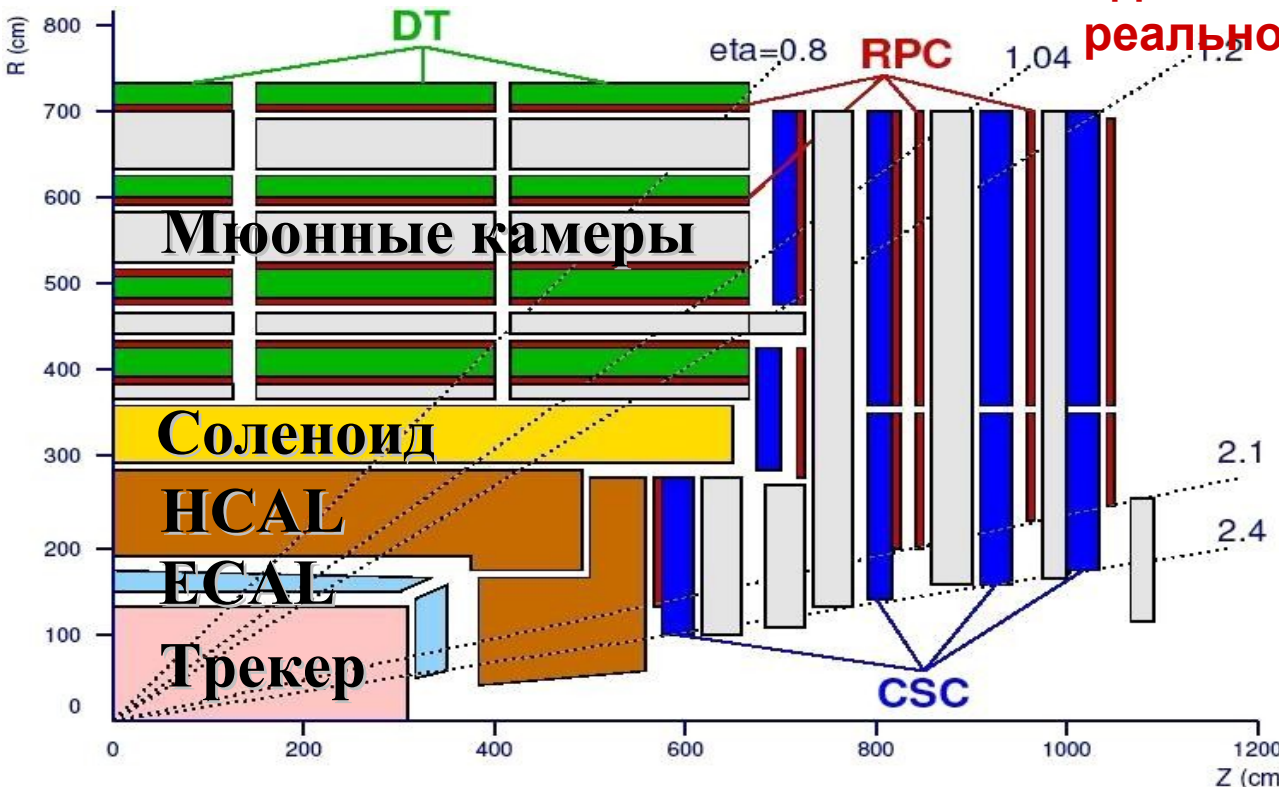
- широкое покрытие до $|\eta| < 2.4$
- высокое разрешение масс димюонов

Кремниевый детектор

- высокая эффективность и чистота для треков с $p_T > 1$ ГэВ/с
- загрузка пикселей: $< 2\%$
- $\Delta p/p \approx 1-2\%$ для треков с $p_T < 100$ ГэВ/с
- регистрация треков с низким p_T

Триггер и DAQ

- Широкие возможности: AA и pp
- для тяжелых ионов: реконструкция в реальном времени для HLT



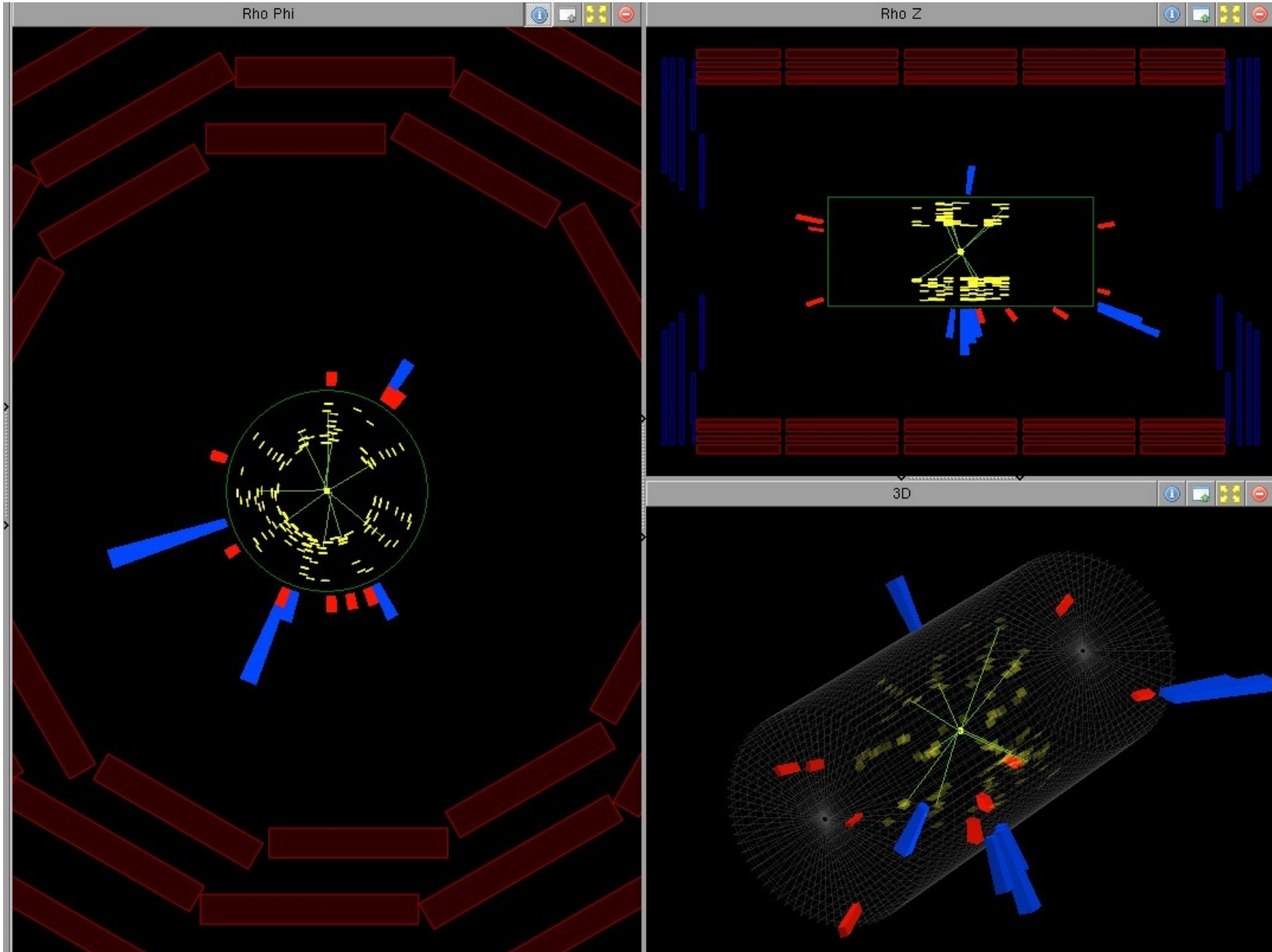
HF
 $3 < |\eta| < 5.2$

CASTOR
 $(5.2 < |\eta| < 6.6)$

ZDC
 $(z = \pm 140 \text{ m}, |\eta| > 8.2 \text{ neutrals})$

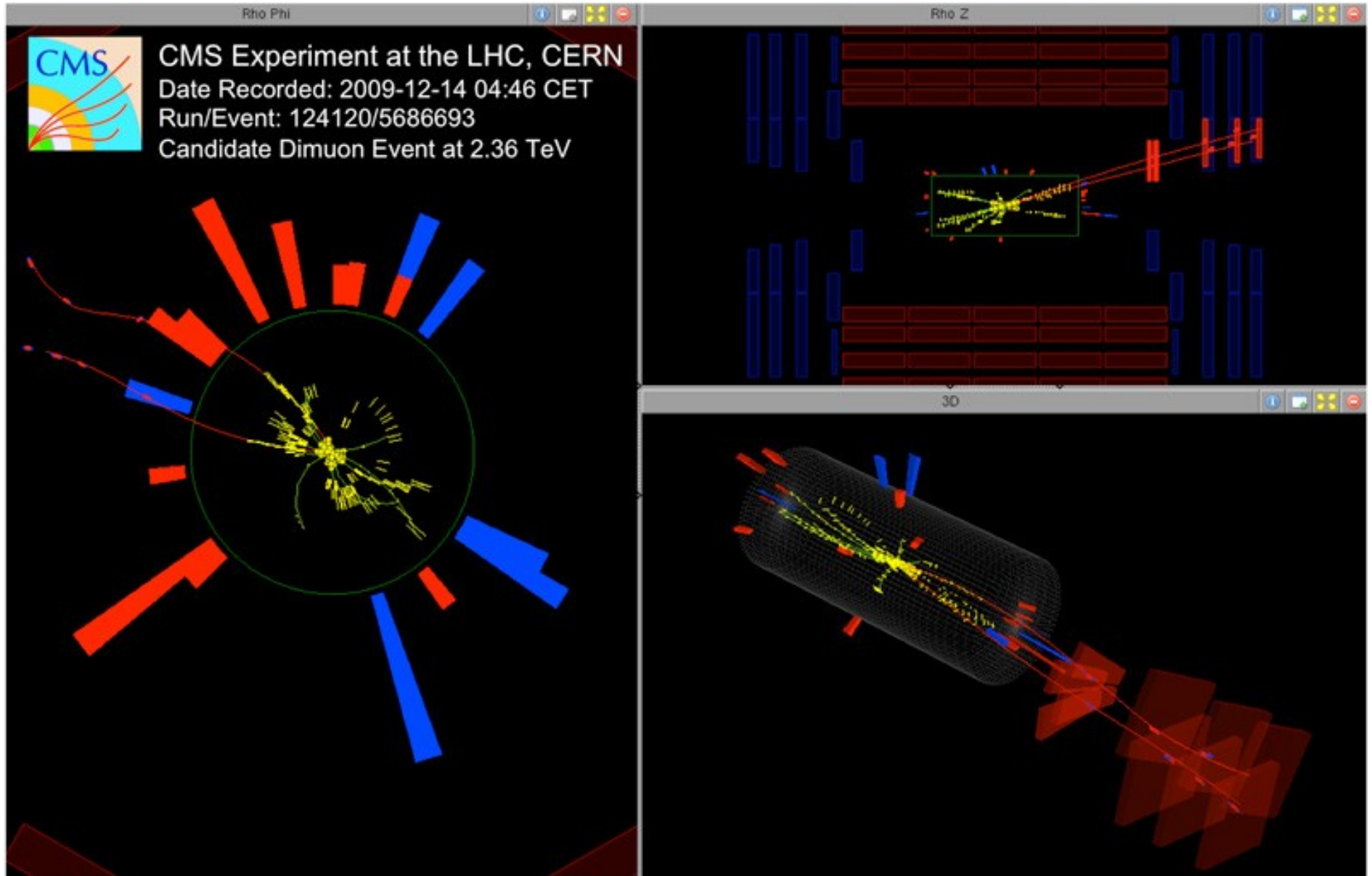


$pp \sqrt{s} = 0.9 \text{ ТэВ}$, начало 23 ноября 2009 г.



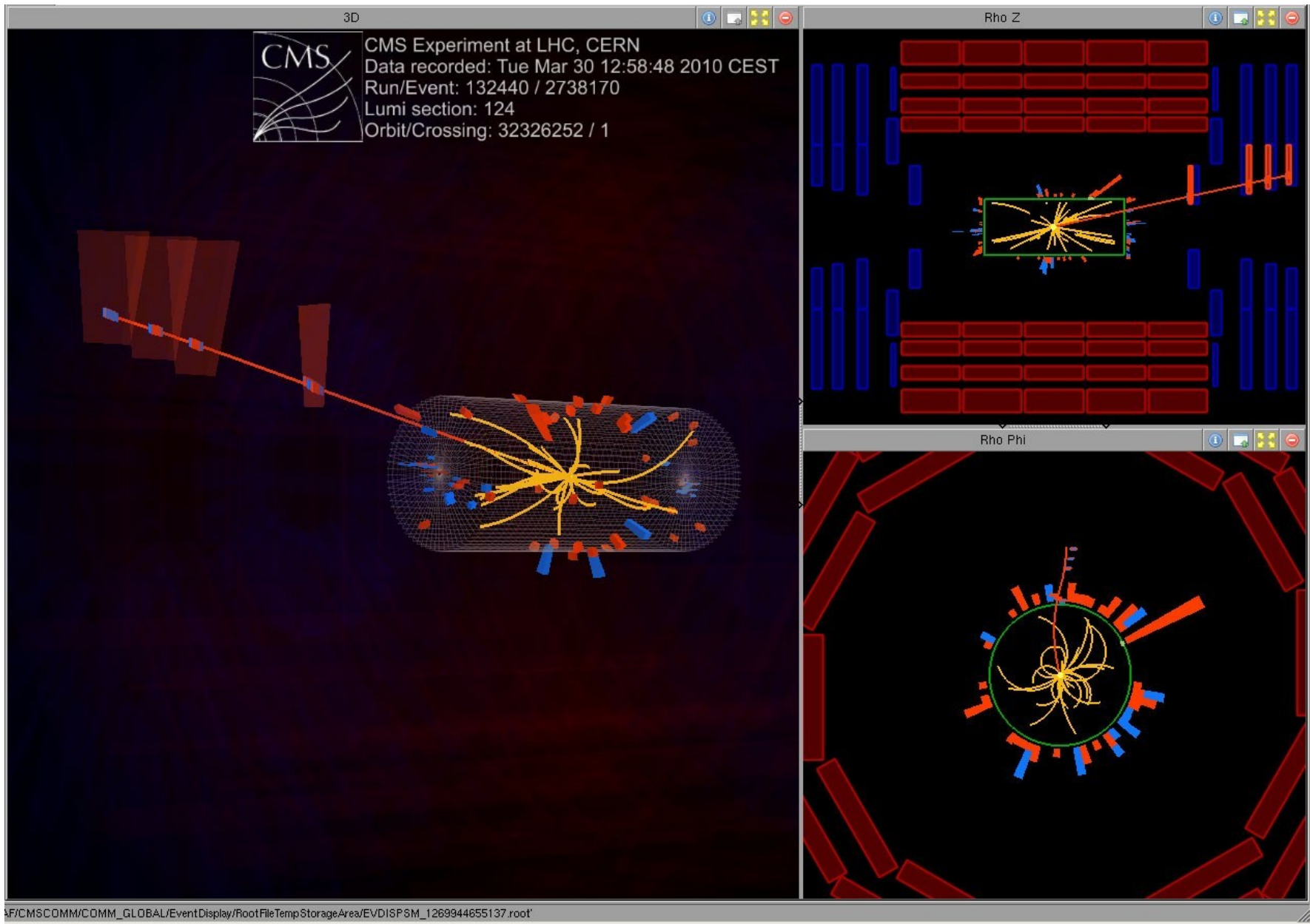


$pp \sqrt{s} = 2.36$ ТэВ, начало 13 декабря 2009 г.



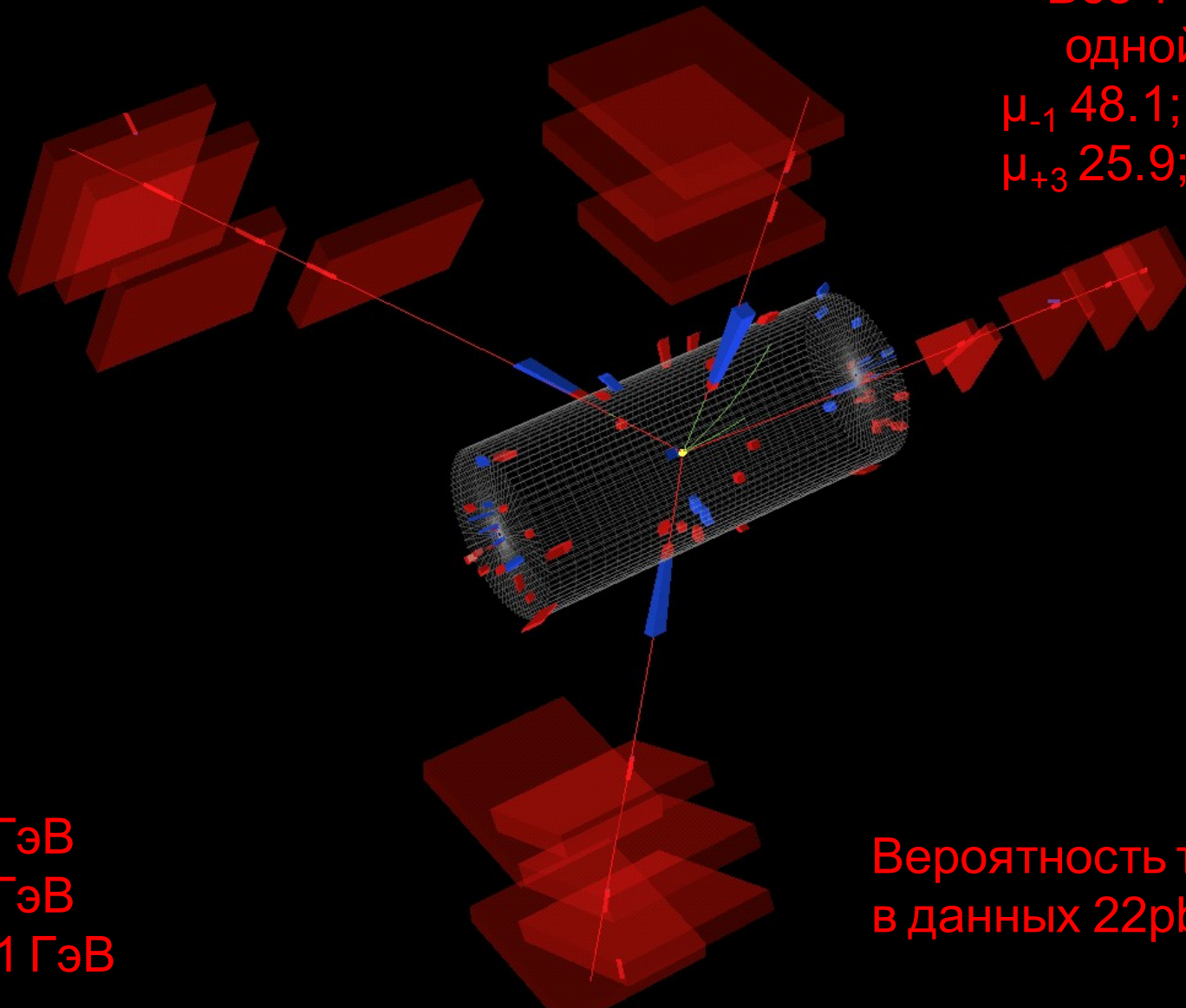


$pp \sqrt{s} = 7 \text{ ТэВ}$, начало 30 марта 2010 г.





$pp \sqrt{s} = 7 \text{ ТэВ}$, первое событие $ZZ \rightarrow 4\mu$



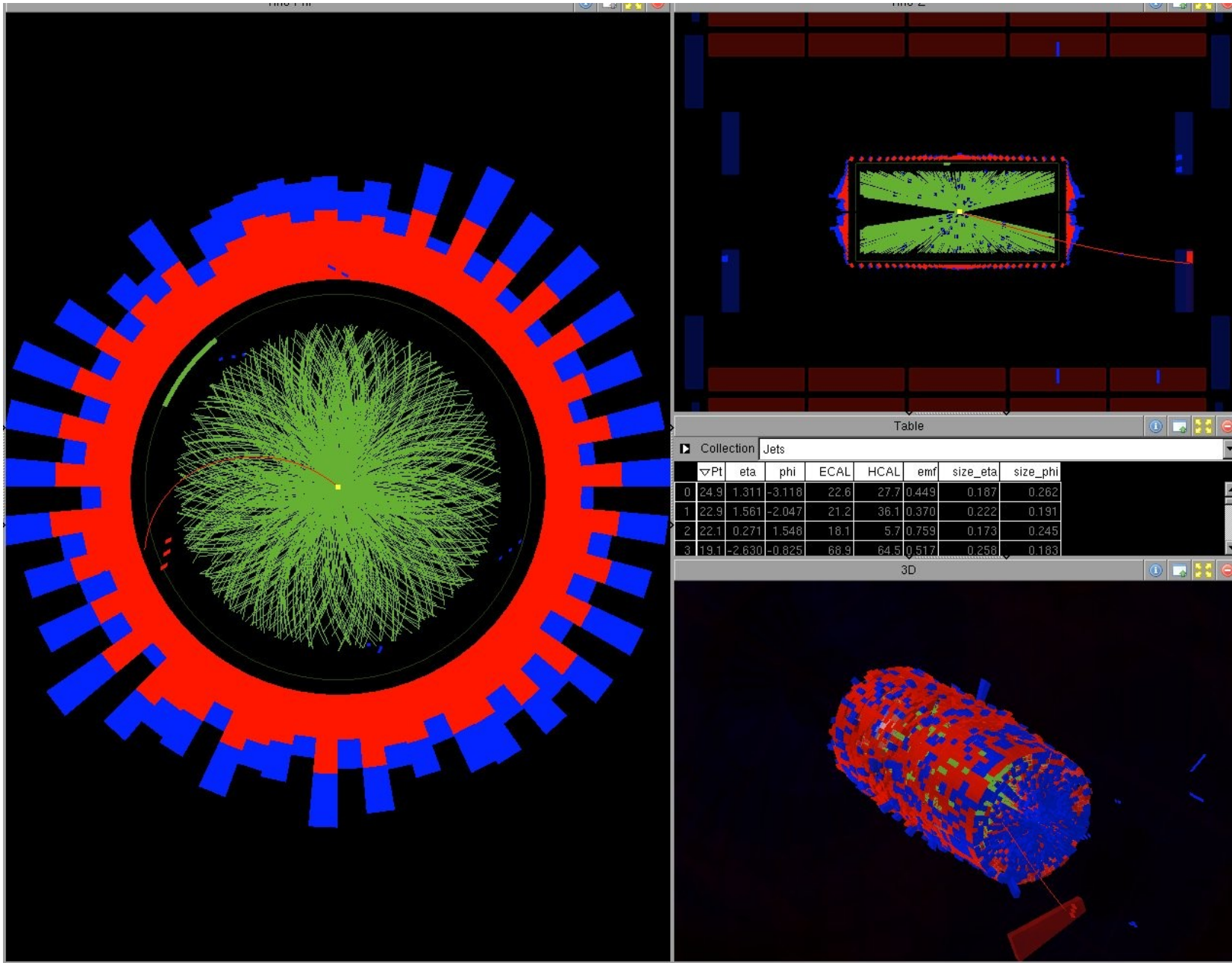
Все 4 мюона – из одной вершины
 μ_{-1} 48.1; μ_{+2} 43.4 ГэВ
 μ_{+3} 25.9; μ_{-4} 19.6 ГэВ

$Z_1 = 92.15 \text{ ГэВ}$
 $Z_2 = 92.24 \text{ ГэВ}$
Масса: 201 ГэВ

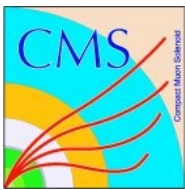
Вероятность такого события в данных 22pb^{-1} : 16%.



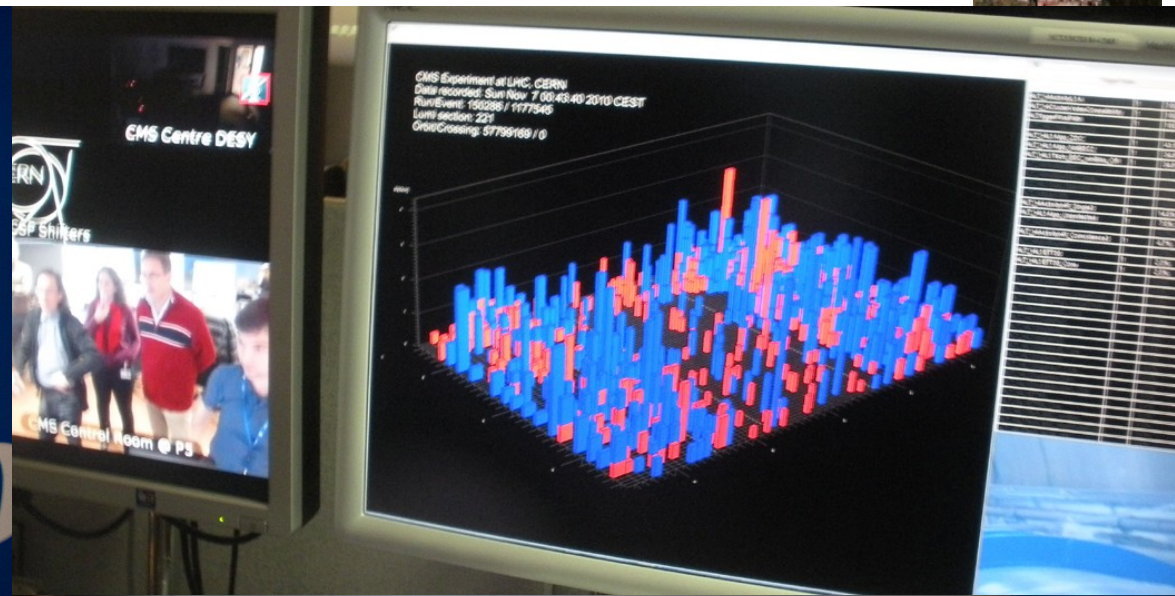
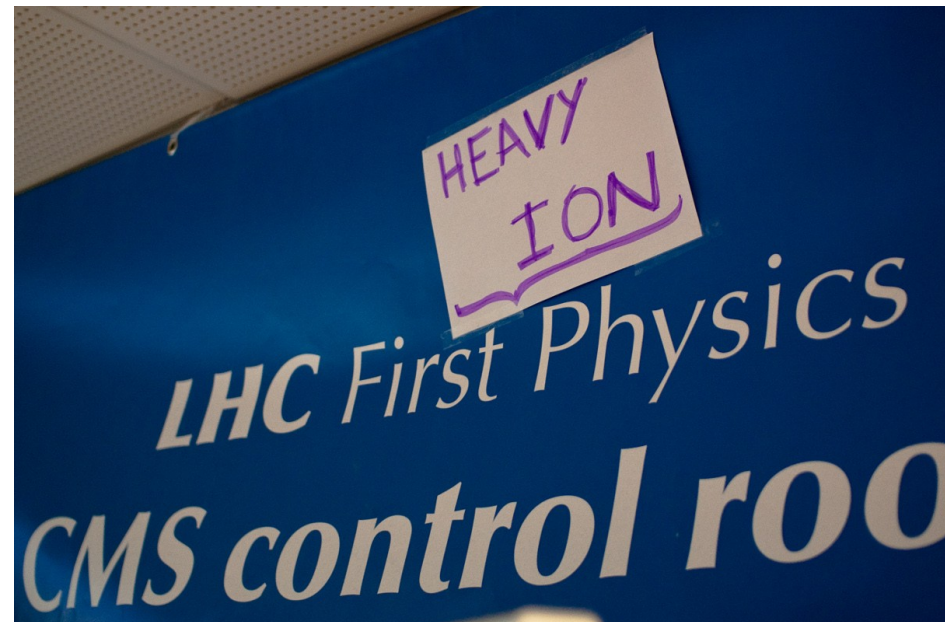
PbPb $\sqrt{s} = 2.76$ ТэВ/нп, начало 7 ноября 2010 г.



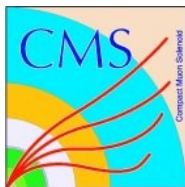
Сергей Петрушанко (CMS Collaboration), ЧЧЧ, 12.4.2011



7 ноября 2010 г. 0:27 Контрольная комната CMS



Сергей Петрушанко (CMS Collaboration), ЧЧЧ, 12.4.2011



Коллайдер ЛНС



Столкновения протон-протон при энергиях $\sqrt{s} = 0.9, 2.36, 7$ ТэВ
ноябрь 2009 года – октябрь 2010 года

Столкновения свинец-свинец при энергии $\sqrt{s} = 2.76$ ТэВ на пару нуклонов
ноябрь-декабрь 2010 года

Столкновения протон-протон при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ
март 2011 года – октябрь 2011 года
(+ короткий запуск на энергии $\sqrt{s} = 2.76$ ТэВ)

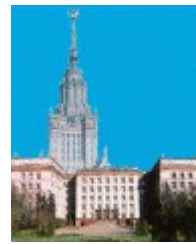
Столкновения свинец-свинец при энергии $\sqrt{s} = 2.76$ ТэВ на пару нуклонов
ноябрь-декабрь 2011 года

2012 год – аналогично 2011 году

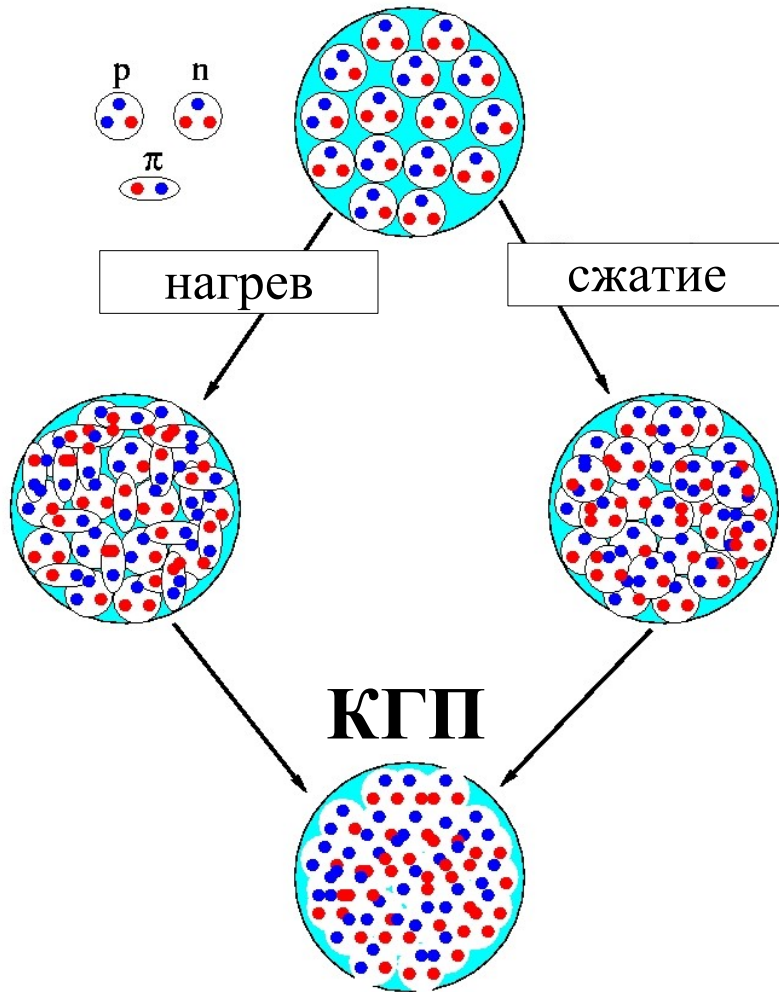
(+, возможно, столкновения протон-ядро и/или более легкие ядра)

После ЛНС upgrade в 2013 году надеемся получить в 2014-2015 годах
столкновения протон-протон при энергии $\sqrt{s} = 14$ ТэВ,
столкновения свинец-свинец при энергии $\sqrt{s} = 5.5$ ТэВ на пару нуклонов.

Деконфаймент и КГП



А что, если мы сожмем или нагреем среду так,
что адроны начнут перекрываться?



Расчеты КХД на решетках предсказывают, что если система адронов достигнет высокой плотности и/или температуры, то произойдет фазовый переход в состояние деконфаймента.

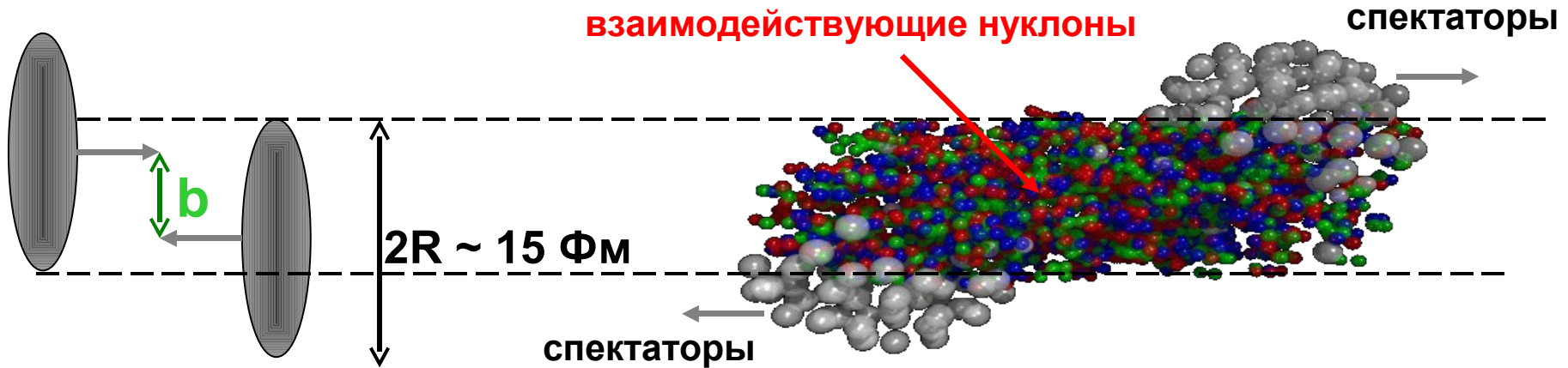
В новой фазе, называемой **кварк-глюонной плазмой** (КГП), кварки и глюоны больше не удерживаются внутри индивидуальных адронов, они начинают свободно передвигаться внутри большого объема.



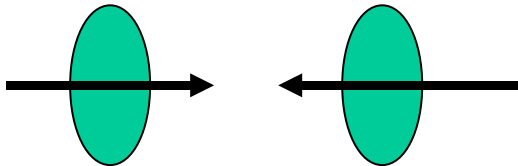
Релятивистские столкновения тяжелых ядер



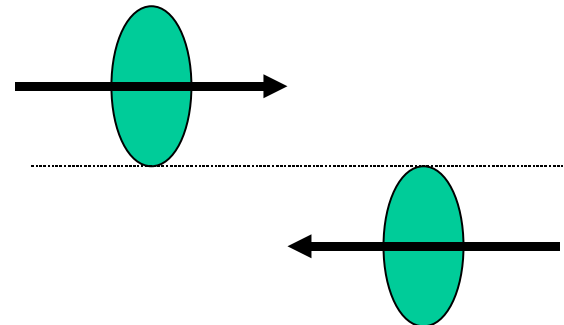
В релятивистских соударениях тяжелых ионов возможно формирование сверхплотного состояния КХД-материи в квазимакроскопических объемах (по сравнению с характерными адронными масштабами).



Центральные столкновения, прицельный параметр $b = 0$

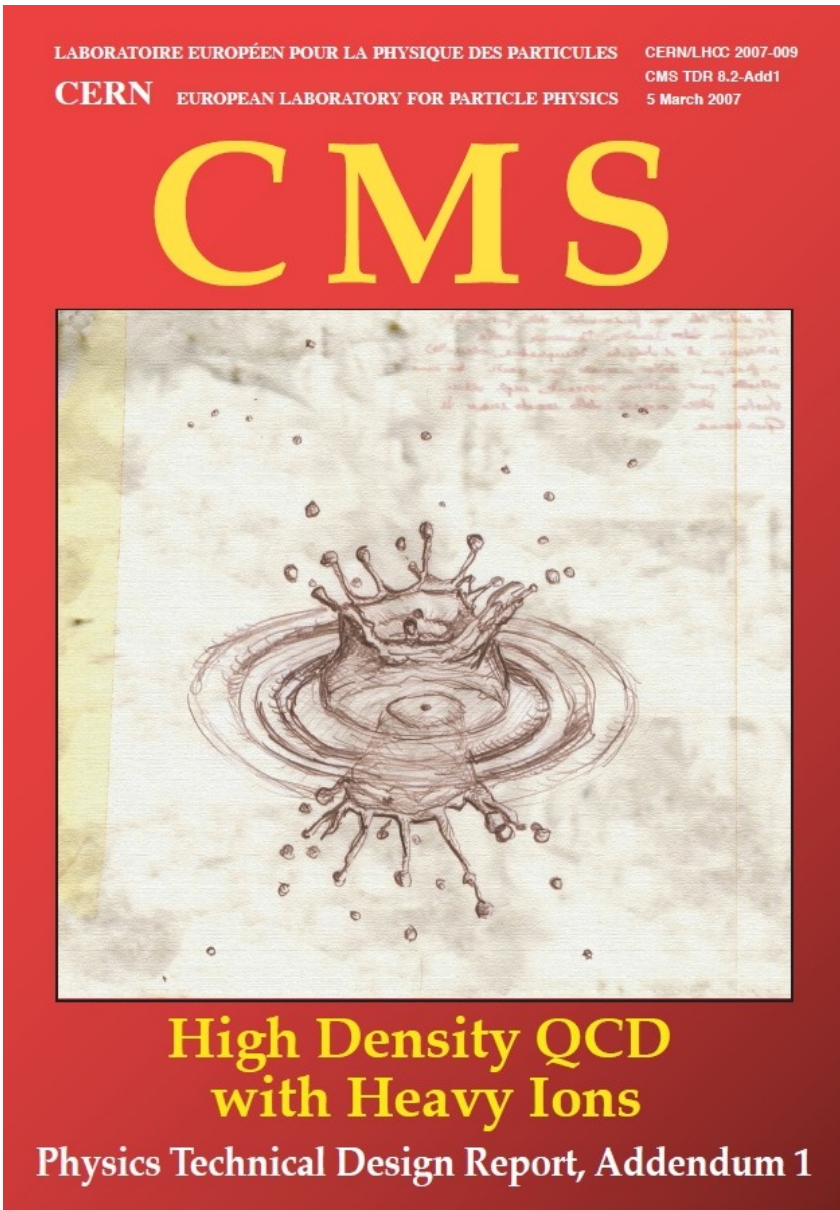


Периферические столкновения, прицельный параметр $b \approx 2R$





Программа эксперимента CMS по изучению тяжелых ионов



“Мягкая” физика:

- Множественность
- Спектры (адроны[±], $dE/dx(\pi^{\pm}, K^{\pm}, p), \pi^0$)
- Эллиптический поток v_2
- Двухчастичные корреляции

“Жесткие” пробы:

- Струи
- Z^0
- Кварконии
-

The CMS Collaboration, D. d'Enterria, M. Ballintijn, M. Bedjidian, D. Hofman, O. Kodolova, C. Loizides, I. P. Lokthin, C. Lourenco, C. Mironov, S. V. Petrushanko, C. Roland, G. Roland, F. Sikler and G. Veres (editors), "CMS Physics Technical Design Report: Addendum on High Density QCD with Heavy Ions", J.Phys.G 34, 2307-2455 (2007).



Опубликованные результаты CMS по изучению тяжелых ионов



Результаты по столкновениям тяжелых ионов:

The CMS Collaboration, “**Observation and studies of jet quenching in PbPb collisions at nucleon-nucleon center-of-mass energy = 2.76 TeV.**”

CMS-HIN-10-004, CERN-PH-EP-2011-001, arXiv:1102.1957 [nucl-ex]

The CMS Collaboration, “**Study of Z boson production in PbPb collisions at nucleon-nucleon centre of mass energy = 2.76 TeV.**”

CMS-HIN-10-003, CERN-EP-PH-2011-003, arXiv:1102.5435 [nucl-ex]

Результаты по столкновениям протон-протон, связанные с физикой тяжелых ионов:

The CMS Collaboration, “**Observation of Long-Range Near-Side Angular Correlations in Proton-Proton Collisions at the LHC.**”

CMS-QCD-10-002, CERN-PH-EP-2010-031, arXiv:1009.4122 [hep-ex],
JHEP 1009:091,2010.



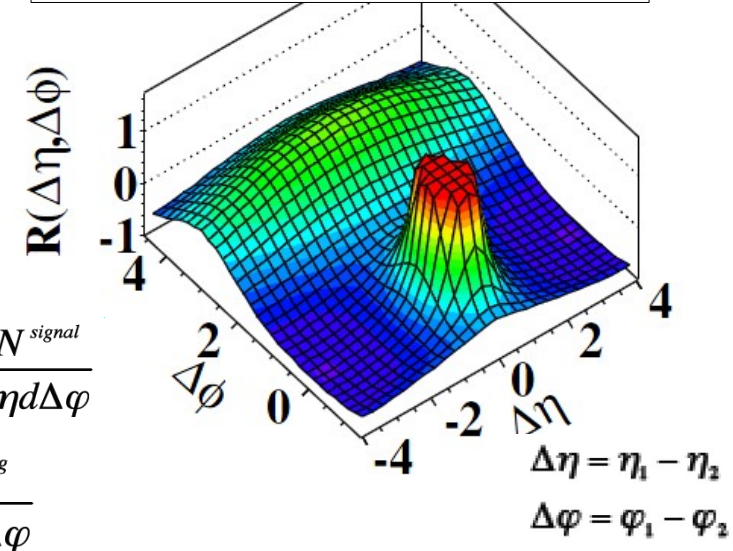
“Ридж”-эффект

В столкновениях протон-протон



- Протон-протонные столкновения $\sqrt{s} = 7$ ТэВ с высокой множественностью $N > 110$.
- Корреляционная функция для треков с поперечным импульсом в диапазоне от 1 до 3 ГэВ/с :

все столкновения

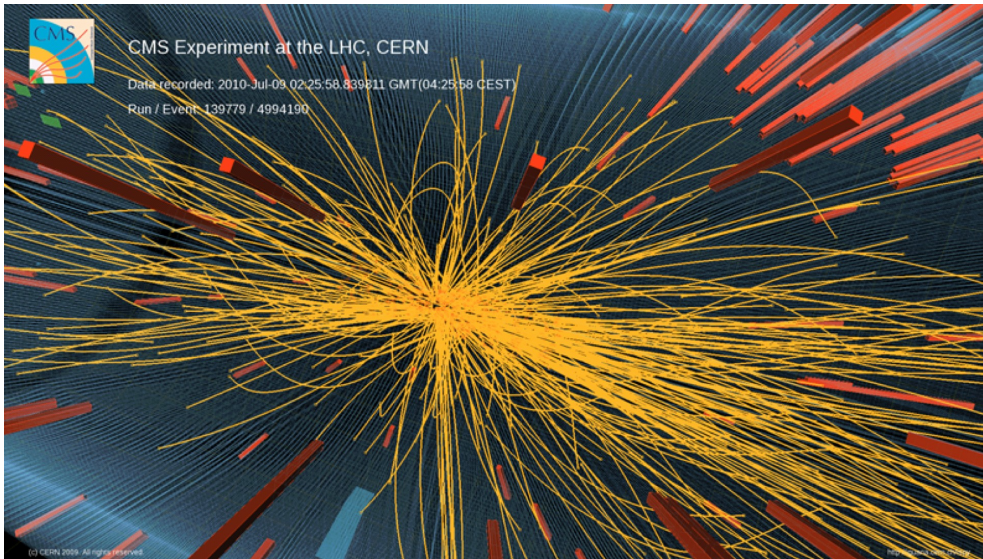
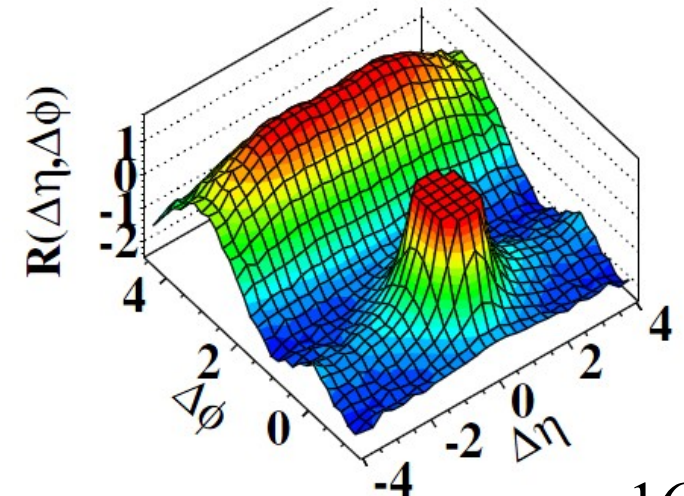


$$R(\Delta\eta, \Delta\phi) = \left\langle \left(\langle N \rangle - 1 \right) \left(\frac{S_N(\Delta\eta, \Delta\phi)}{B_N(\Delta\eta, \Delta\phi)} - 1 \right) \right\rangle_N$$

$$S_N(\Delta\eta, \Delta\phi) = \frac{1}{N(N-1)} \frac{d^2 N^{signal}}{d\Delta\eta d\Delta\phi}$$

$$B_N(\Delta\eta, \Delta\phi) = \frac{1}{N^2} \frac{d^2 N^{bkg}}{d\Delta\eta d\Delta\phi}$$

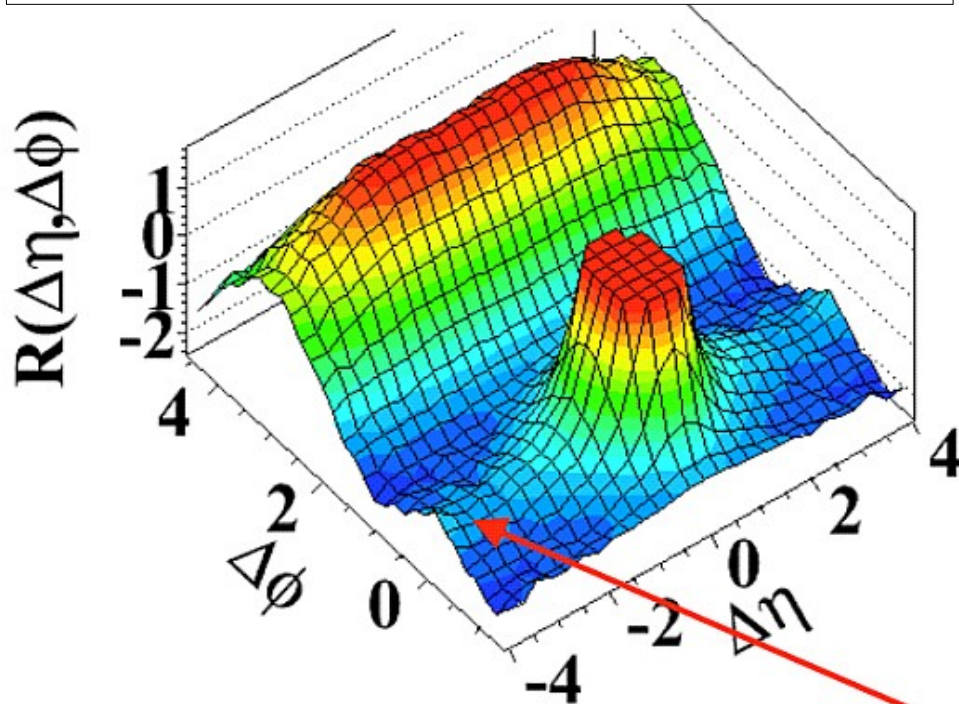
столкновения с $N > 110$



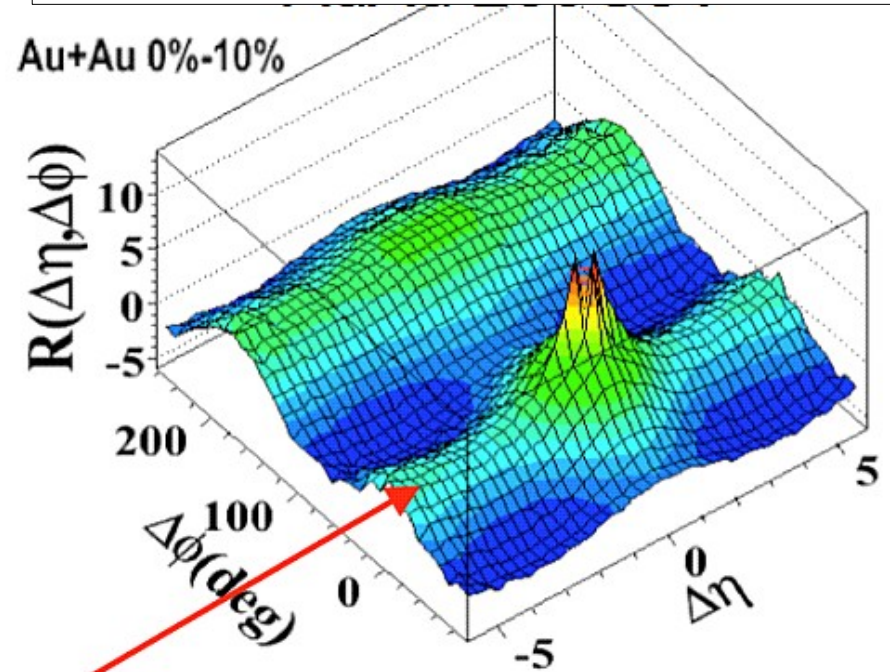
“Ридж”-эффект LHC и RHIC



LHC pp 7 ТэВ



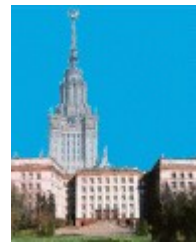
RHIC AuAu 200 ГэВ



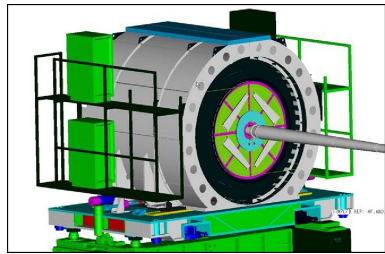
Подобный эффект наблюдался ранее в столкновениях AuAu на коллайдере RHIC при энергии $\sqrt{s} = 200$ ГэВ на пару нуклонов в тех же диапазонах поперечного импульса.



Определение центральности PbPb – HF-калориметр установки CMS



HF-калориметр установки CMS: радиационно-стойкий калориметр, основанный на регистрации **черенковского света** в кварцевом волокне, внедренном в стальной поглотитель.

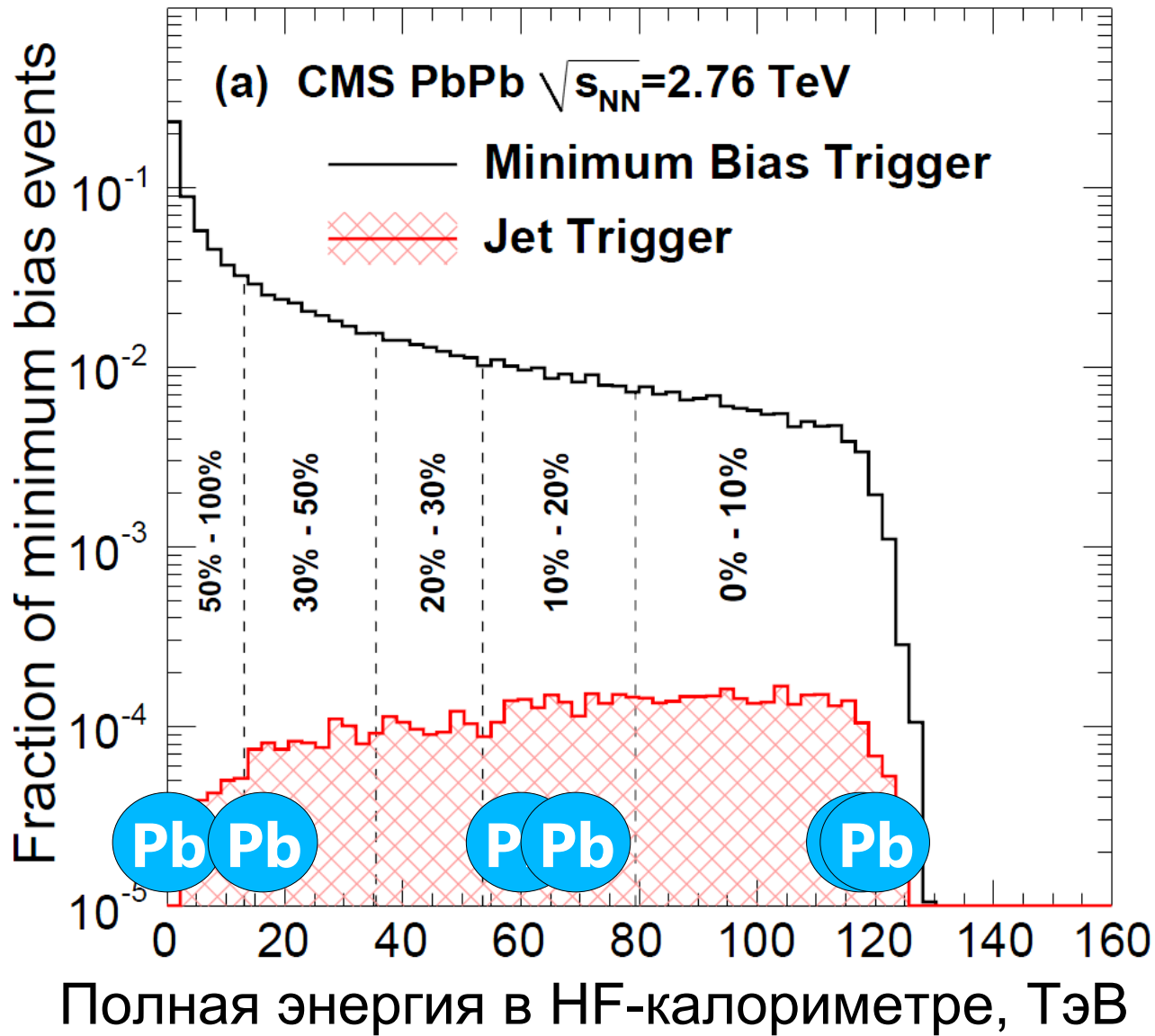


HF

$$3 < |\eta| < 5.2$$

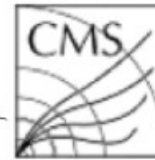
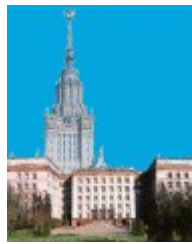


Определение центральности PbPb

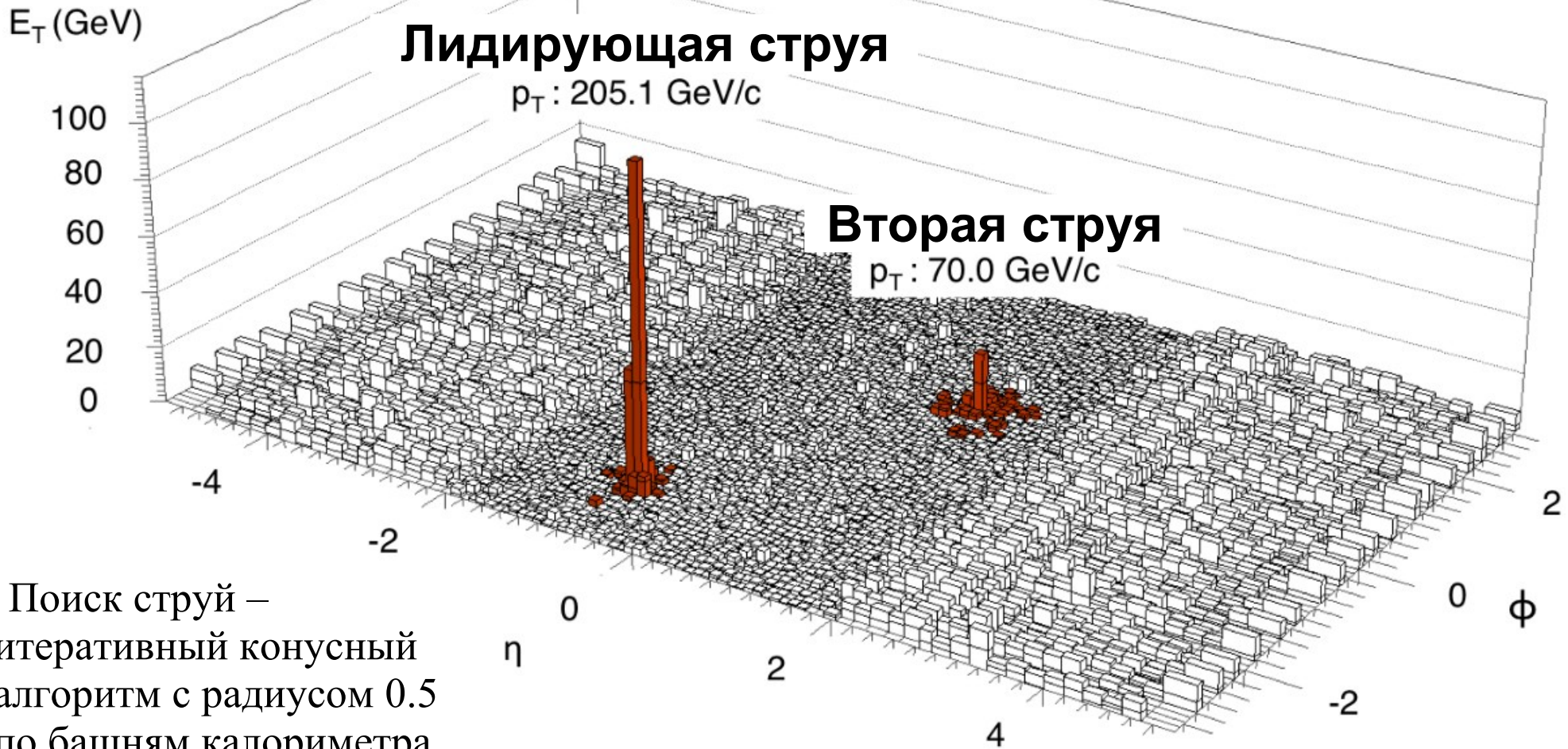




Регистрация струй в PbPb на CMS



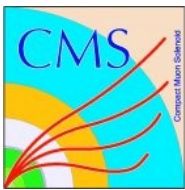
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Sun Nov 14 19:31:39 2010 CEST
Run/Event: 151076 / 1328520
Lumi section: 249



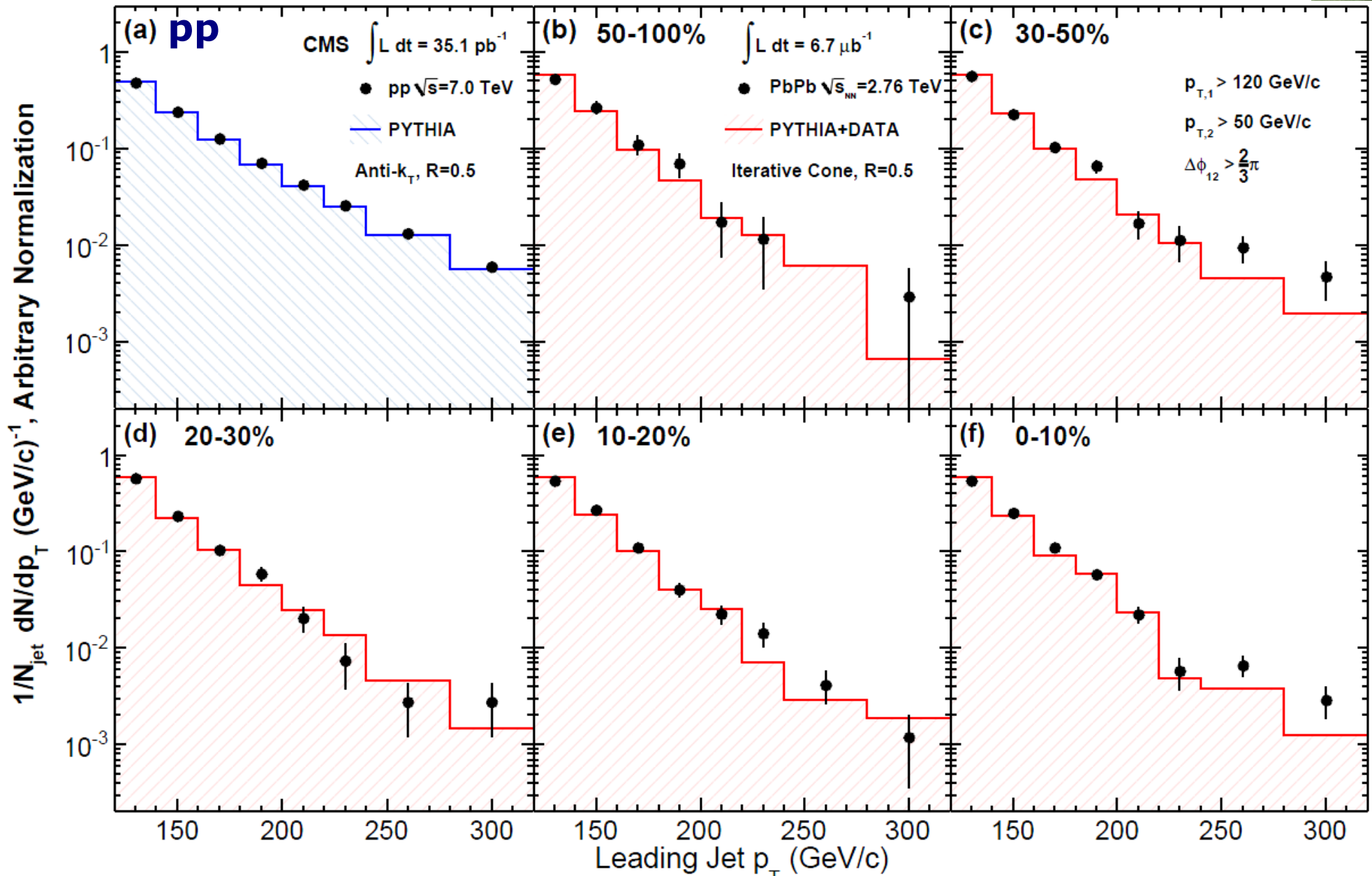
Поиск струй –
итеративный конусный
алгоритм с радиусом 0.5
по башням калориметра,
с учетом фона.

O.Kodolova, I.Vardanian, A.Nikitenko et al.,
Eur.Phys.J. C50, 117 (2007)

Сергей Петрушанко (CMS Collaboration), ЧЧЧ, 12.4.2011



Поперечный импульс лидирующих струй





Отбор событий для наблюдения эффекта “гашения струй”



Отбор двухструйных событий PbPb

$$- |\eta_{\text{jet}}| < 2$$

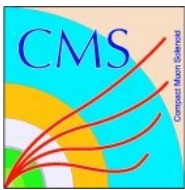
Лидирующая струя – Leading jet $p_T > 120 \text{ GeV}/c$

Вторая струя – Subleading jet $p_T > 50 \text{ GeV}/c$

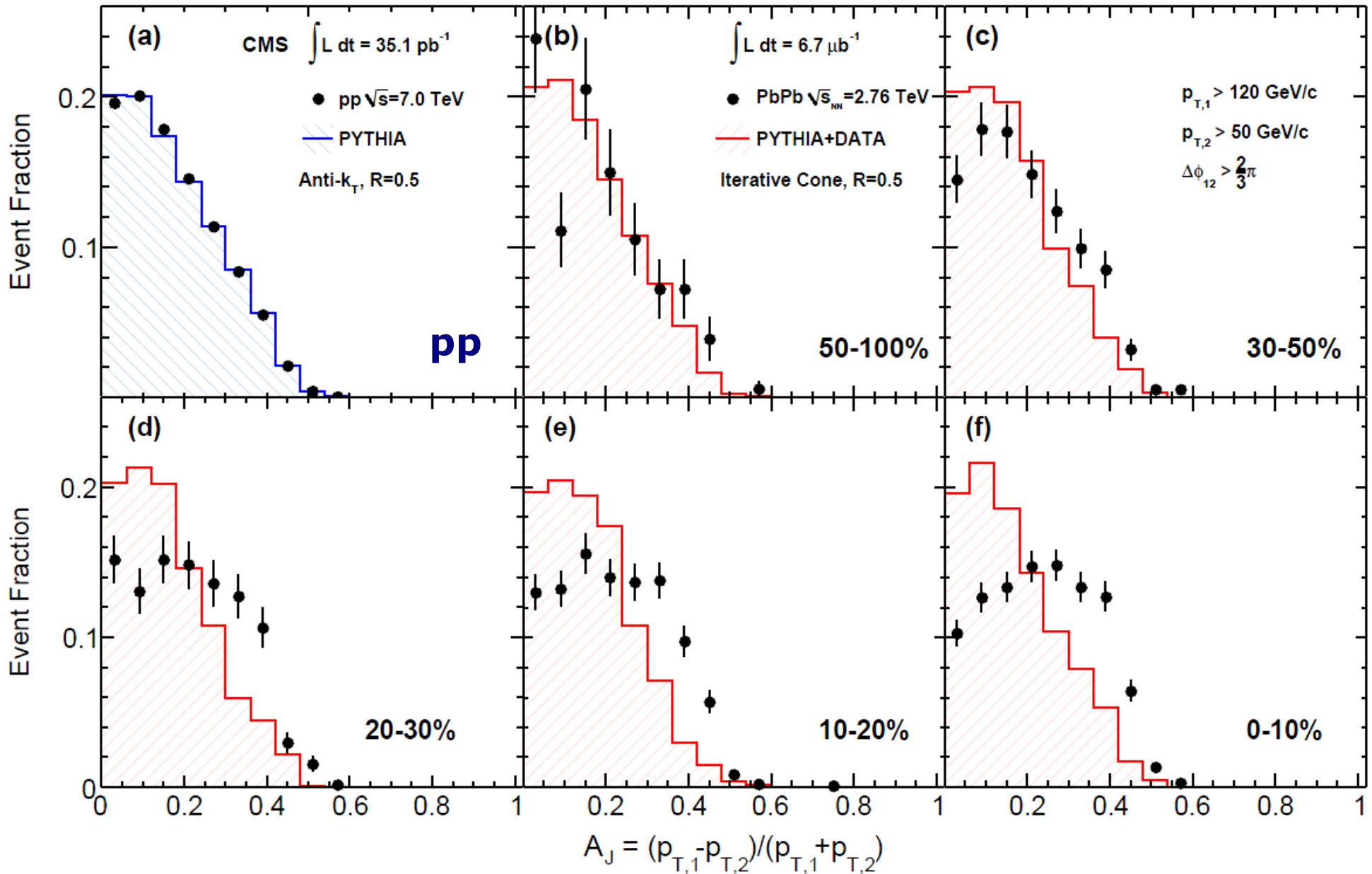
$$- \Delta\phi_{1,2} > 2\pi/3$$

Коэффициент степени анизотропии рождения струй:

$$A_J = \frac{p_{T,1} - p_{T,2}}{p_{T,1} + p_{T,2}}$$

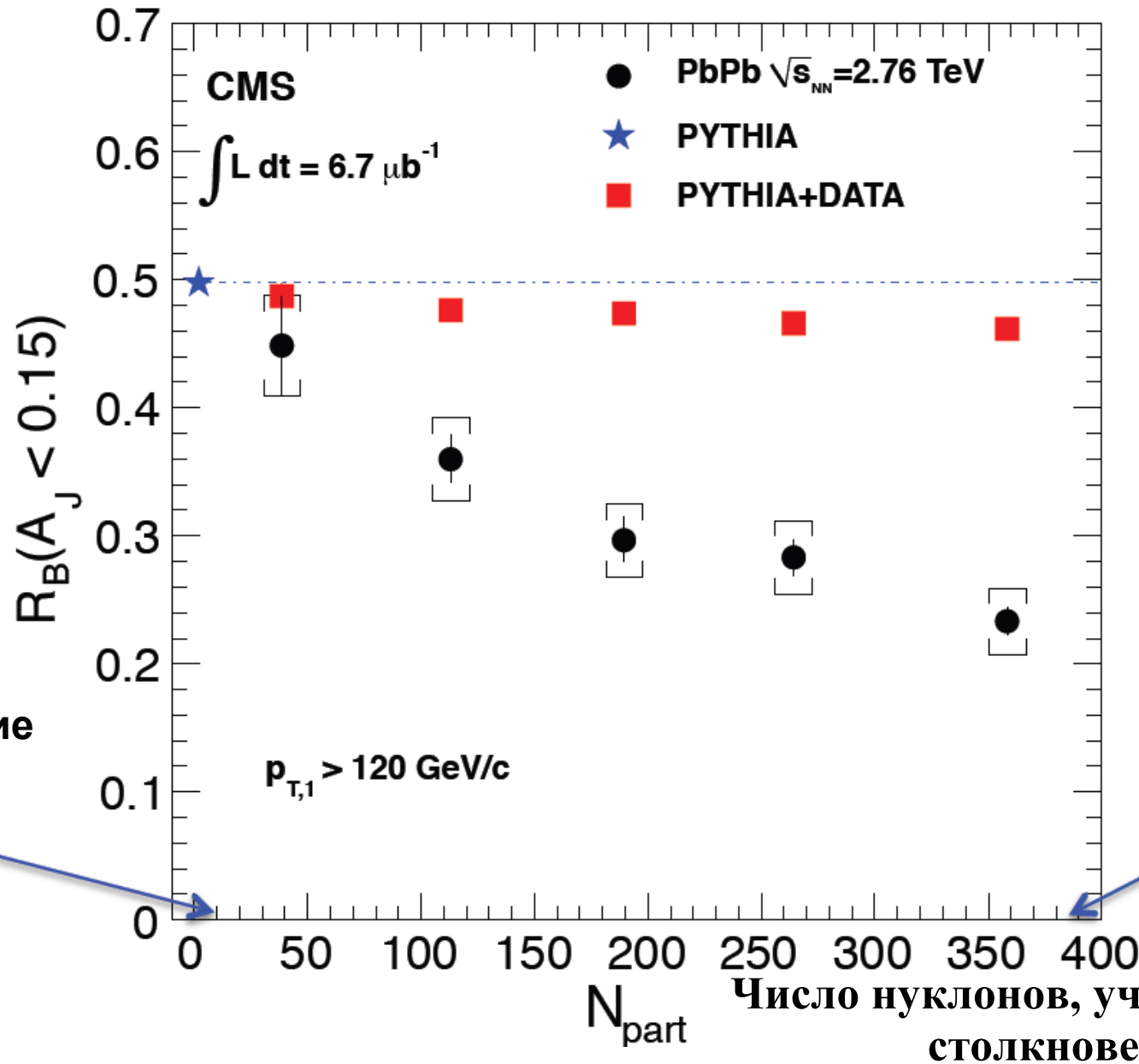


A_J для струй в pp и PbPb разных центральностей





Доля событий, для которых $A_J < 0.15$



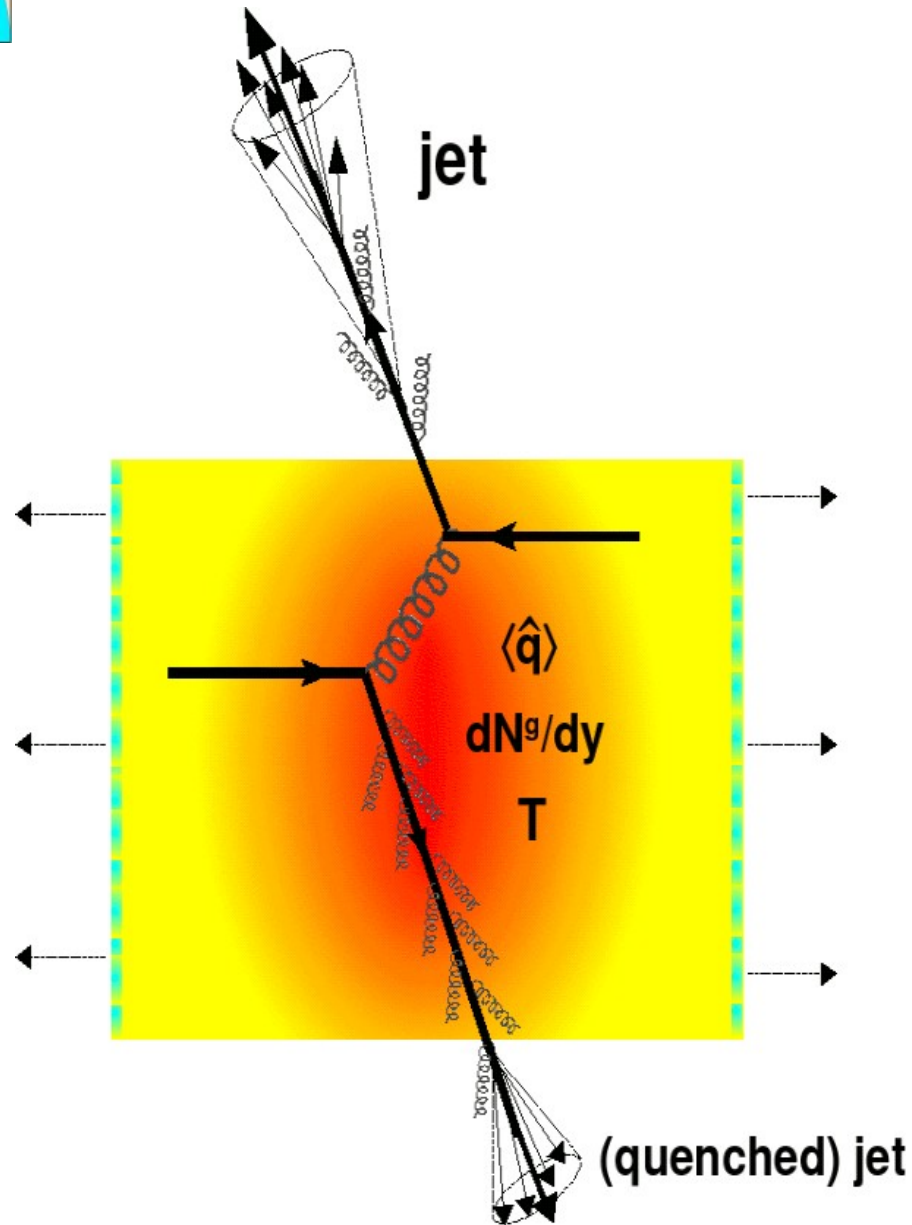
Периферические столкновения



Центральные столкновения



Эффект “гашения” струй



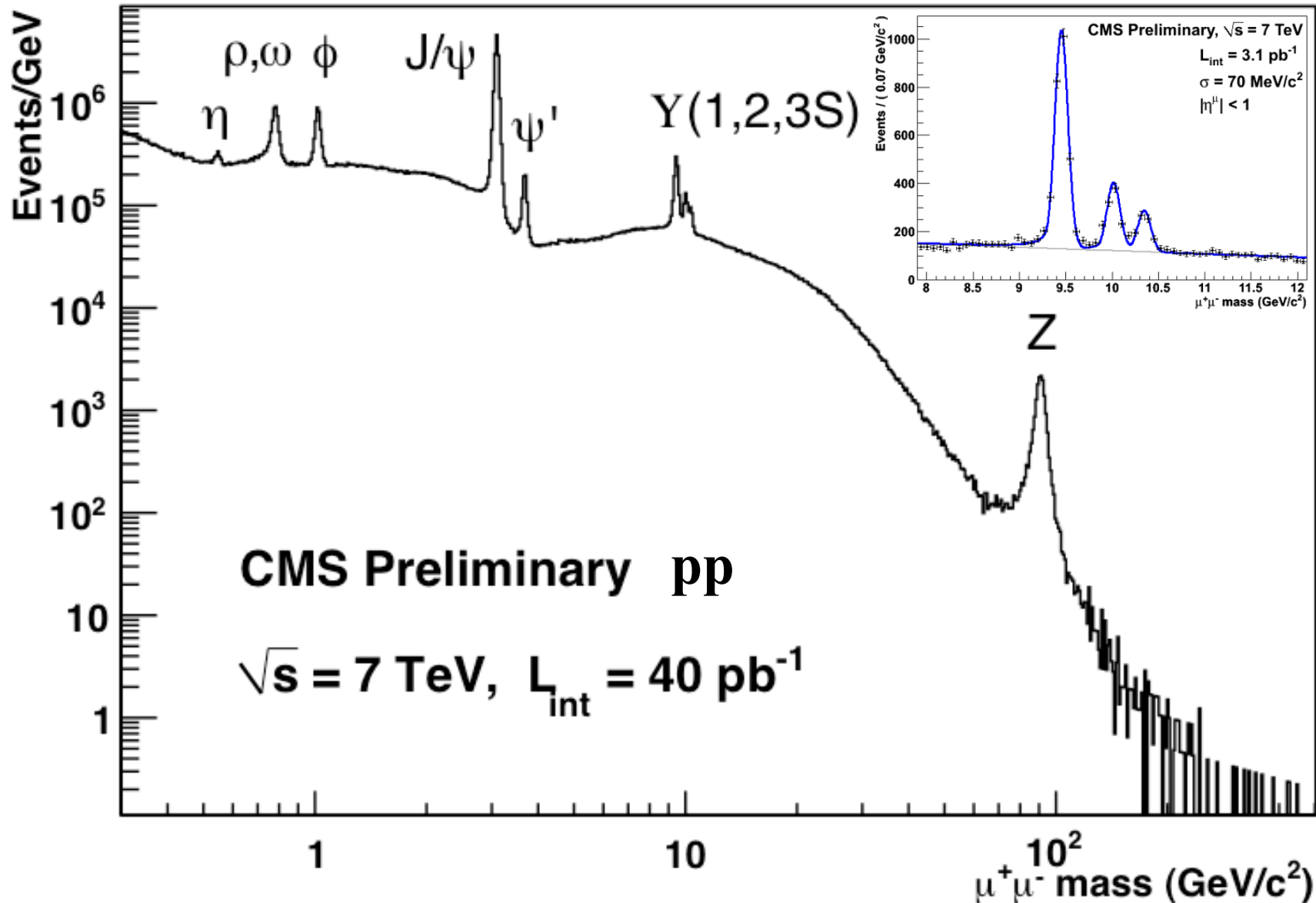
Одно из возможных объяснений эффекта “гашения” струй при энергии ЛНС – энергетические потери партонов в плотном веществе КГП



CMS – Компактный МЮОННЫЙ Соленоид

Спектр масс димюонов в pp на CMS

от η до Z^0 ...

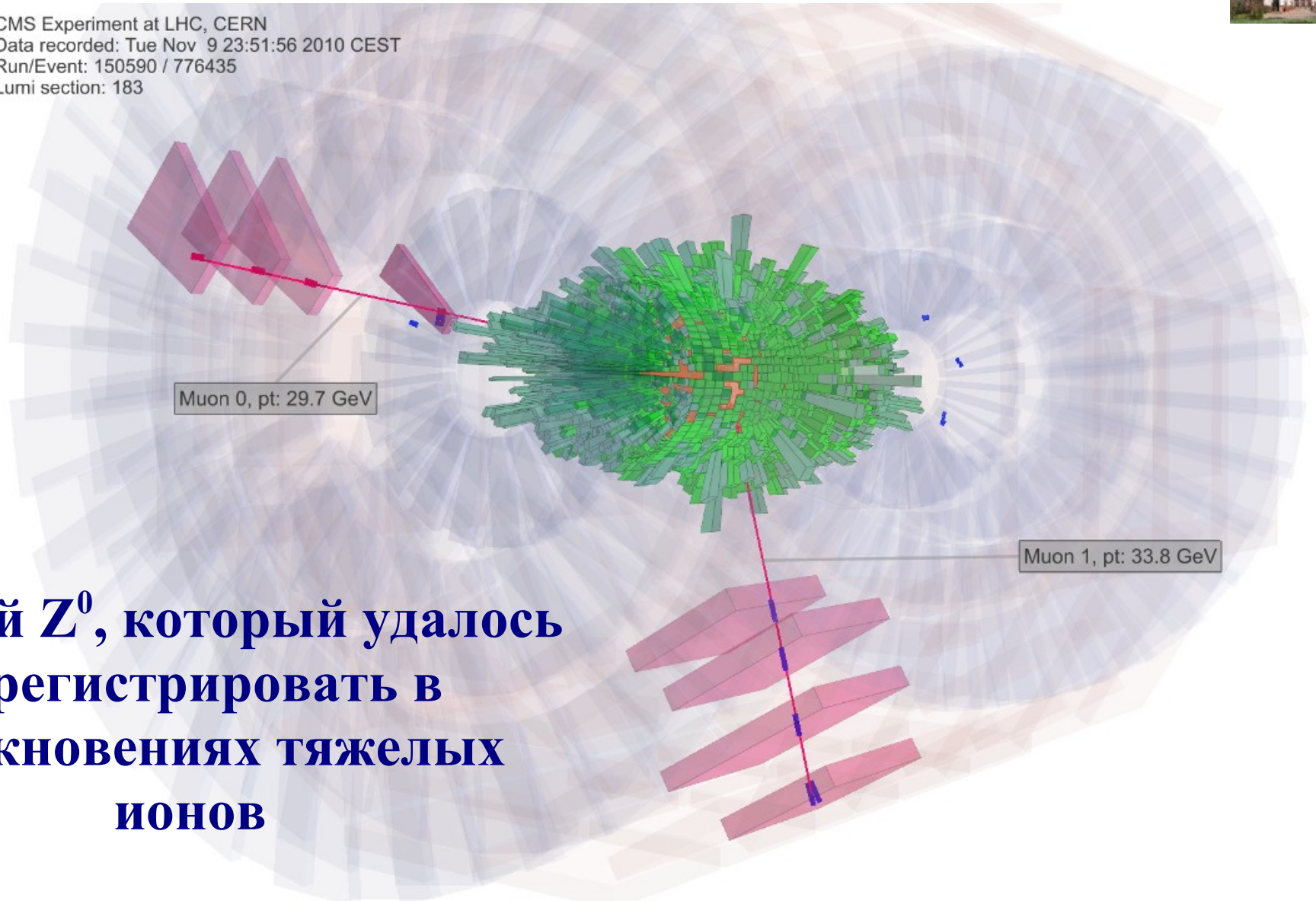




$Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ в PbPb на CMS



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Tue Nov 9 23:51:56 2010 CEST
Run/Event: 150590 / 776435
Lumi section: 183



**Первый Z^0 , который удалось
зарегистрировать в
СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ
ИОНОВ**

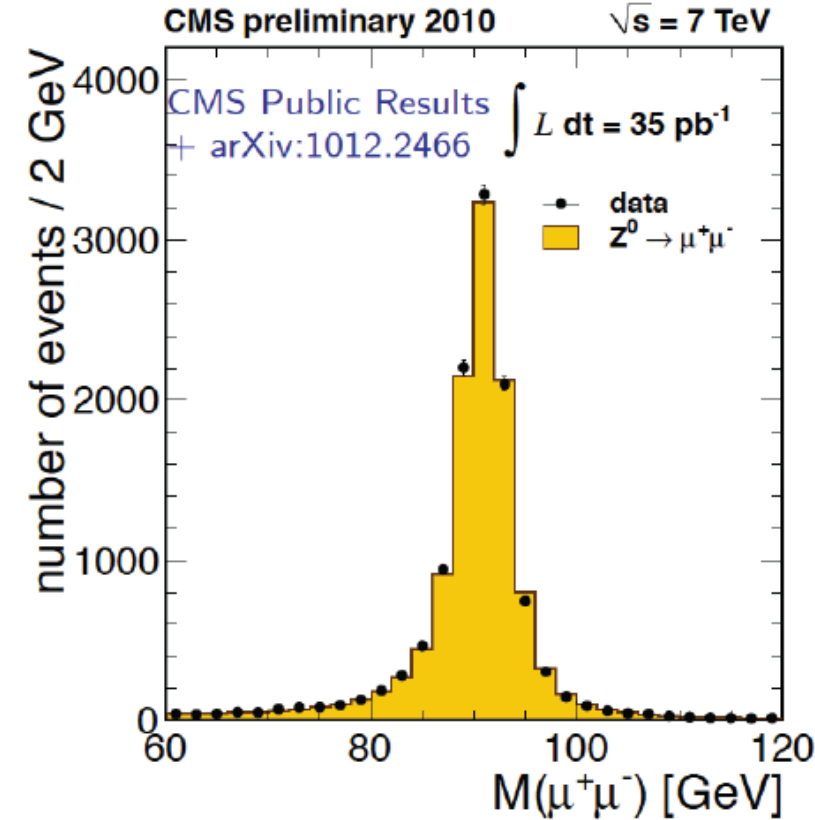
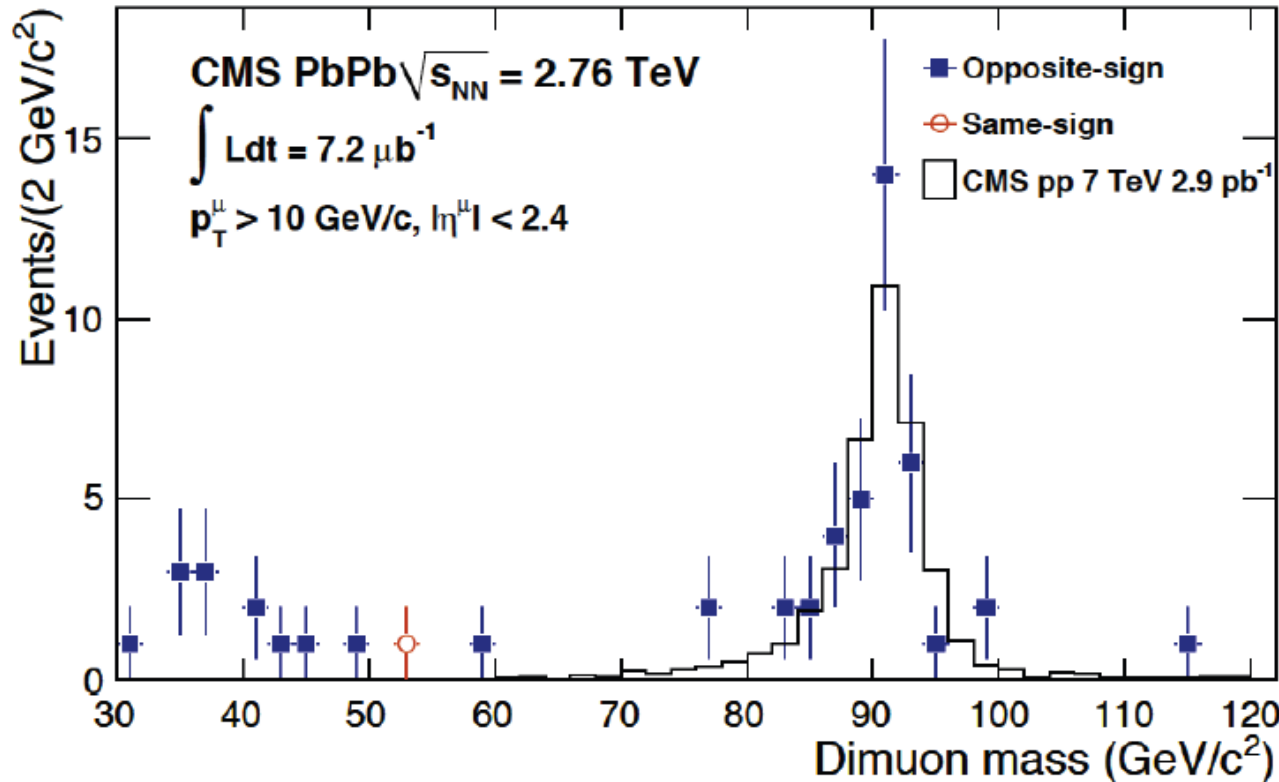


$Z^0 (\mu^+ \mu^-)$ - масс-спектр в PbPb и pp



PbPb

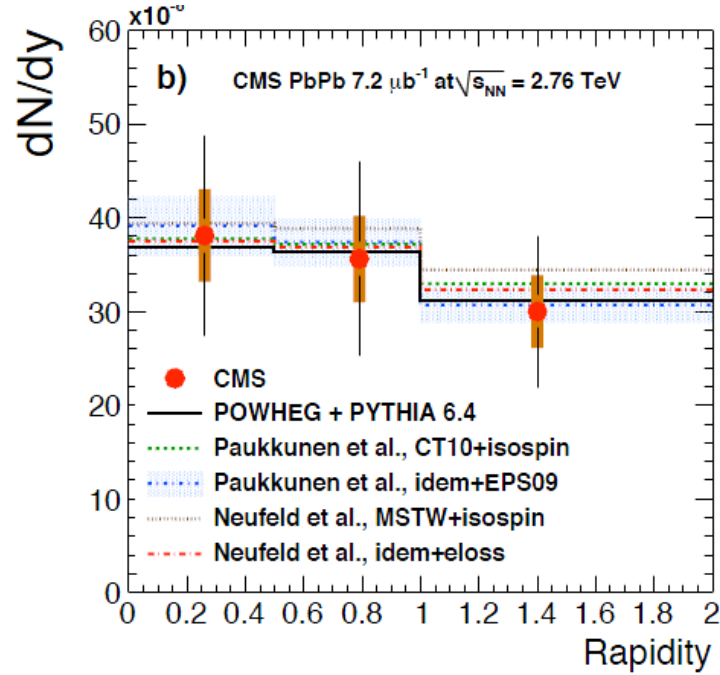
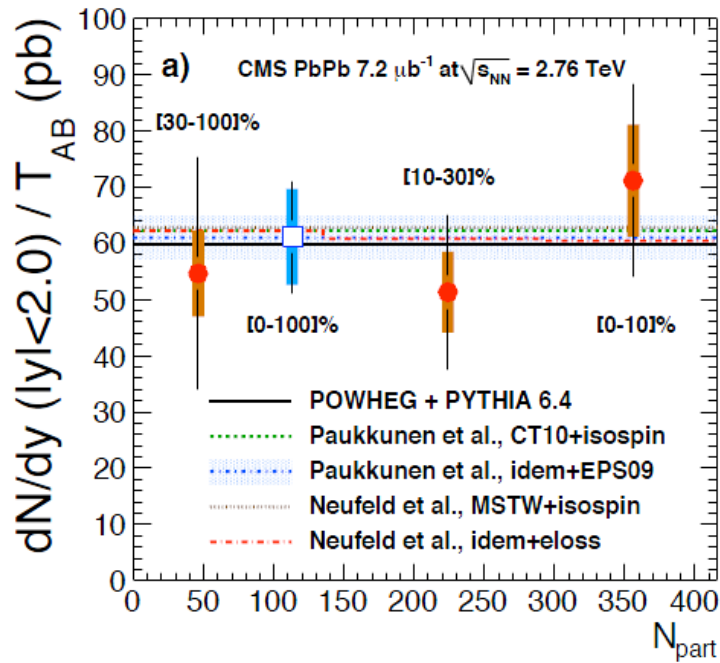
pp



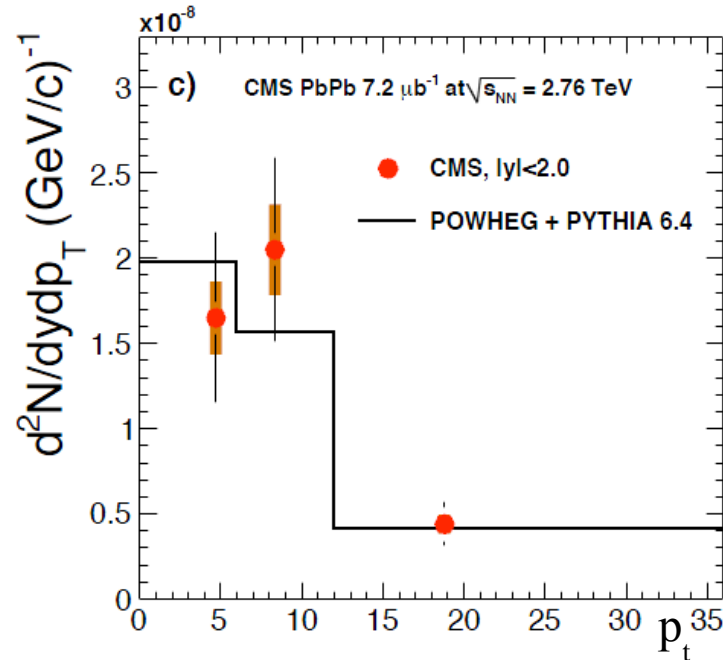
- В области масс 60-120 ГэВ/с² в PbPb зарегистрировано 39 Z^0 .
- Разрешение массы Z^0 в PbPb близко к pp.
- Полную статистику разделили по центральности на диапазоны 0-10%, 10-30%, 30-100% (см. следующий слайд).



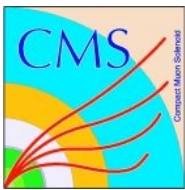
$Z^0 (\mu^+ \mu^-)$ и теоретические предсказания



Изучение
рождения Z^0
в PbPb –
сведения о
начальной
стадии
эволюции
КГП



- Измеренные характеристики Z^0 соответствуют теоретическим предсказаниям.
- Однако делать какие-либо выводы о дополнительных эффектах, таких как экранирование, изоспиновый эффект и энергетические потери, пока рано.



Выводы



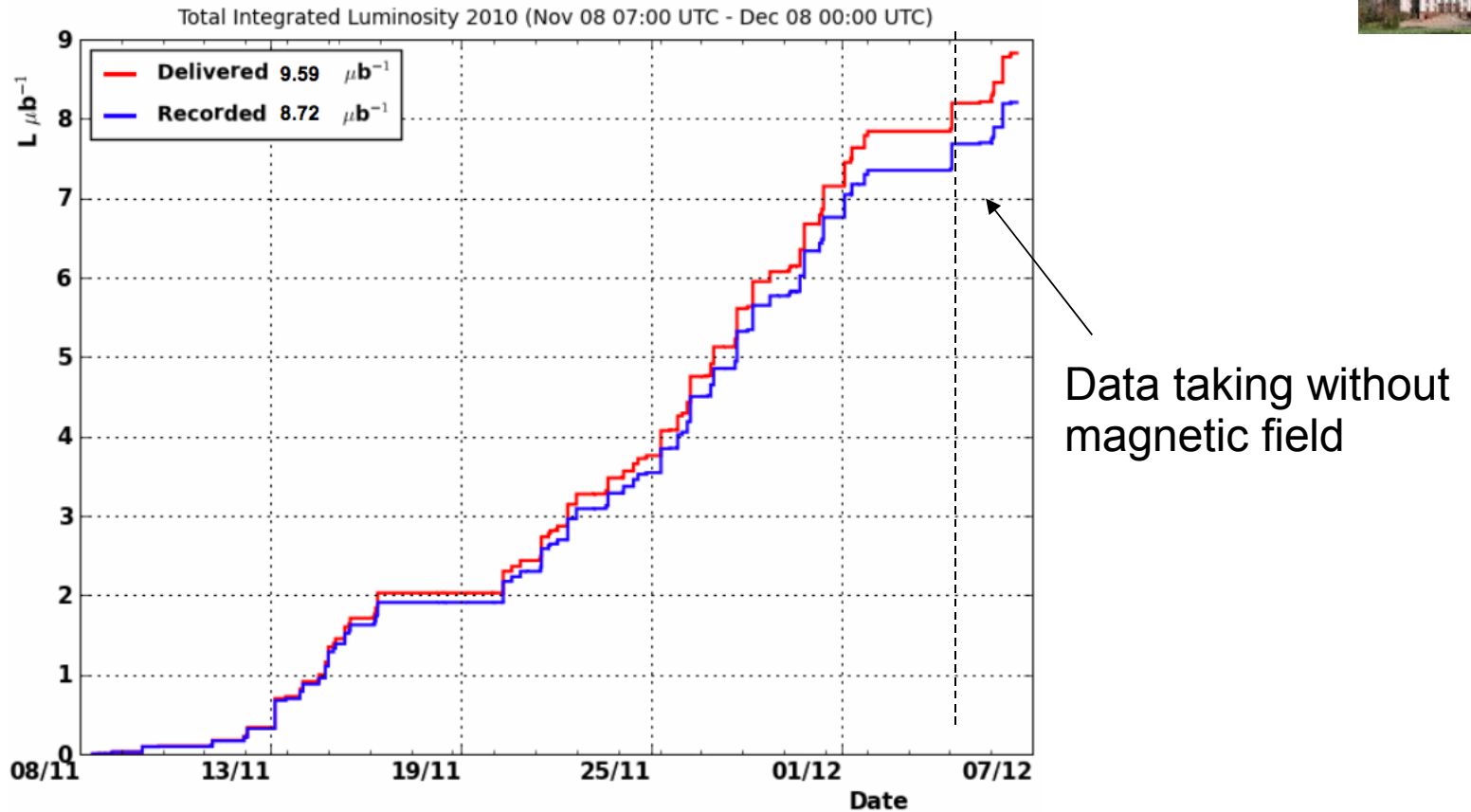
- ✓ Первые экспериментальные данные, полученные в ядро-ядерных взаимодействиях на установке CMS, уже преподнесли нам пару сюрпризов.
- ✓ Дальше – больше... **Stay tuned !**



BACK UP



LHC: 2010 Heavy Ion Run



- 2010 has been a successful year at LHC
 - After delivering over 40 pb^{-1} of p+p data, LHC delivered over $9 \mu\text{b}^{-1}$ of Pb+Pb
 - $\sim 7 \mu\text{b}^{-1}$ used in hard probes analysis
 - For rare processes, this is ‘equivalent’ to $\sim 300 \text{ nb}^{-1}$ of p+p